Lane Medical Library

Ueber den

Einfluss der Uebung auf den Gaswechsel.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doctorwürde

einer hohen medicinischen Facultät zu Bern

vorgelegt von

Max Gruber
aus Willburgstetten.

München.
Druck von R. Oldenbourg.
1892.

Ueber den

Einfluss der Uebung auf den Gaswechsel.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doctorwürde

einer hohen medicinischen Facultät zu Bern

vorgelegt von

Max Gruber
aus Willburgstetten.

München.
Druck von R. Oldenbourg.
1892.

Auf Antrag des Unterzeichneten von der Facultät zum Drucke genehmigt.

Bern, den 27. Juli 1888.

H. Kronecker,
z. Zt. Decan.

Das Gesetz von der Erhaltung der Energie ist von Aerzten entdeckt worden; daher sogleich auf biologische Processe angewendet. Es war verführerisch, diese Gesetze, welche für die Processe der anorganischen Physik bewiesen worden, auch für die höchstcomplicirten Processe des Lebens als gültig nachzuweisen.

Aus diesem Bestreben entstand eine Reihe berühmter Arbeiten von Helmholtz[1]).

Besonders erschien den physiologischen Physikern Bécquerel, Breschet[2]), Mayer[3]), von Helmholtz, Heidenhain[4]), Fick und Anderen eine exacte Lösung obiger Frage möglich durch das Studium der Thätigkeit des Muskels, dessen Leistung in Form von mechanischer Arbeit oder Wärme für exact messbar gehalten wurde. Hirn[5]) und Béclard[6]) nahmen nicht Anstand, den Muskel mit einer Dampfmaschine zu vergleichen.

---

1) Helmholtz, Ueber den Stoffverbrauch bei der Muskelaction. Müller's Archiv für Anatomie u. Physiologie 1845 S. 72. Ueber die Wärmeentwickelung bei Muskelaction. Müller's Archiv 1848 S. 144. Ges. Abhandl. II No. 83 u. 84.

2) Bécquerel et Breschet, Sur la chaleur animale. 1835. Annales des sciences naturelles. Nouv. 2 Série t. III. p. 272.

3) J. R. Mayer, Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhang mit dem Stoffwechsel 1845.

4) Heidenhain, Mech. Leistung, Wärmeentwickelung u. Stoffumsatz 1864.

5) Hirn, Esquisse élément. de la théorie mécanique de la chaleur, 2 lecture Bull. de la Soc. d'Hist. nat. de Colmar 1863.

6) Béclard, Archiv. générales de médec. 1861.

Aus den Heidenhain'schen Versuchen ergab sich mit vollkommener Sicherheit, was auch aus dem Clausius'schen Satze (II. Satz der mechanischen Wärmetheorie) folgte, dass im Muskel nicht Wärme in Arbeit umgesetzt werden kann. Heidenhain fand, dass die Wärmebildung mit der Arbeit resp. Spannung im Muskel wächst. Fick [1]) beobachtete dann ferner, dass nicht nur die Zusammenziehung, sondern auch die Ausdehnung des Muskels Wärme bildet. Es wäre nun entweder anzunehmen, dass die Wärmeentwickelung neben der Arbeit verliefe, so dass der Gesammtaufwand mit der Leistung in grösserem Verhältnisse wüchse, als die Leistung selbst, oder man könnte sich vorstellen, dass die Wärme durch die Bewegung verursacht würde, etwa durch Reibung. Im ersten Falle müsste der Stoffverbrauch bei der Muskelaction in grösserem Verhältnisse wachsen als die Arbeit. Kronecker [2]) hat die Ermüdung als Maass des Stoffverbrauches untersucht. Er fand u. A., dass, bei gleichem Reize, die Muskeln ebenso schnell ermüden, wenn sie kleine, als wenn sie grosse Lasten zu heben haben.

Dieses unerwartete Resultat wird verständlich, wenn man bedenkt, dass der Muskel seine Kräfte disponibel macht, bevor er seine Bewegung (Zuckung) beginnt (Zeit der latenten Reizung, Actionsstrom), also unbeeinflusst durch die Ueberlastung, welche erst im Verlauf seiner Zuckung sich geltend macht. Wodurch wird nun aber die Grösse des Stoffumsatzes bestimmt? Sicherlich nicht allein durch die Grösse des Reizes. Die Leistungsfähigkeit wird in erster Linie durch die Ernährung (Stärke) des Muskels bedingt, wie dies am Herzmuskel, der nur maximale Reize kennt, mit Sicherheit erwiesen ist. Von dem Spannkraftsvorrathe ist für den Muskel in jedem Momente nur ein kleiner Theil verwendbar. Wir brauchen wiederholte Reize (in Form tetanisirender), um grössere Mengen von Energie frei zu machen. Hieraus ist ersichtlich, was übrigens schon Rob. Mayer überzeugend dargethan hat, dass der Muskel nicht von seinem eigenen Stoffe zehrt; das haben Kronecker und Stirling experimentell am Froschherzen bewiesen.

---

1) Fick, Myothermische Fragen und Versuche 1884.

2) Kronecker, Ueber die Ermüdung und Erholung der quergestreiften Muskeln. Arbeiten aus der physiol. Anstalt zu Leipzig 1871. S. 177.

F. Martius hat für den Herzmuskel, N. Brinck für Skelettmuskeln den Beweis erbracht, dass kein anderer der Stoffe, welche bisher als Kraftspender für den Thierleib angesehen worden sind, Muskelarbeit ermöglicht, als das Serumeiweiss. Dessenungeachtet haben nicht etwa der Harnstoff und andere N-haltige Zersetzungsproducte als Maass des Stoffwechsels zu gelten. Voit[1]), Fick und Wislicenus[2]) und Andere haben nachgewiesen, dass durch die Muskelarbeit die Ausscheidung dieser Stoffe nicht entsprechend vermehrt wird. Alle Forscher aber stimmen darin überein, dass mit der Thätigkeit die Bildung und Ausscheidung der CO_2 wächst. Diese beiden Thatsachen zusammengehalten, veranlassten viele Physiologen, anzunehmen, dass stickstofffreie Körper als (Kraftquellen) Arbeitsquellen für den Thierkörper dienen.

Seitdem Sanson und Claude Bernard das Glykogen im Muskel gefunden haben und O. Nasse dasselbe als einen regelmässigen Bestandtheil der lebenden Muskeln aller Thierclassen nachgewiesen hat, wurde diesem Kohlehydrate von verschiedenen Untersuchern die Bedeutung des hauptsächlichsten oder wohl auch einzigen Heizmaterals der Muskelmaschine zugeschrieben. Nasse, Weiss und Andere fanden, dass der Muskel im ruhigen Tonus Glykogen zersetzt, aber, wenn er tetanisirt ist, im erhöhten Masse. Boehm gibt an, dass unter normalen Verhältnissen die Muskelarbeit im Organismus stets an den Verbrauch von Kohlehydraten geknüpft sei. Chauveau und Kaufmann[3]) fanden in Stücken von Masseteren zweier kauender Pferde um 21% resp. 28% weniger Glykogen als in Stücken ruhender Masseteren derselben Pferde. Chauveau hat über die Bedeutung der aus dem Glykogen entstehenden „Glykose“ einen Satz folgenden Inhalts aufgestellt: In den Capillaren thätiger Organe verschwindet mehr Traubenzucker als in den unthätigen und zwar in bedeutenderem Grade in den

1) C. Voit, Untersuchungen über den Einfluss des Kochsalzes, des Kaffees und der Muskelbewegungen auf den Stoffwechsel. München 1860.

2) Fick u. Wislicenus, Ueber die Entstehung der Muskelkraft. Vierteljahrsschrift der Zürcher naturforschenden Gesellsch. B. X S. 317.

3) Chauveau et Kaufmann, Comptes rend. de l'Acad. des sciences 1886 und Chauveau Le travail musculaire. Paris 1891. p. 256 et p. 248.

Muskeln, als in den Drüsen, entsprechend den Verbrennungsgrössen (Sauerstoffverbrauch und Kohlensäureentwickelung).

Luchsinger[1]) und O. Nasse[2]) haben gezeigt, dass die Muskeln hungernder Thiere glykogenfrei werden, ohne unfähig zur Arbeit zu sein.

Erst mittels der von E. Külz verbesserten quantitativen Glykogenbestimmung (nach der Kalimethode) ist es möglich geworden, die letzten Reste von Glykogen, zumal in den Muskeln, nachzuweisen. Daher sind die Luchsinger'schen Versuche nicht mehr vollständig beweisend.

Külz[3]) und seine Schüler fanden in der angestrengten Bewegung ein mächtig Mittel, den Glykogengehalt der Leber in wenig Stunden auf ein Minimum zu reduciren, während der Glykogengehalt der Muskulatur noch sehr bedeutende Werthe behalten kann. „Die Strychninvergiftung ist der einzige Eingriff, den man kennt, um bei Kaninchen das Muskel- wie das Leberglykogen in wenigen Stunden zum Schwund zu bringen."

Die synthetischen Versuche von Martius[4]) am Froschherzen zeigen, dass Glykogen nicht das Serum-Albumin ersetzen kann, dass aber durch die Diffusion zuckerfrei gemachtes Serum das Froschherz leistungsfähig macht. Andererseits ist durch Hermann[5]) zuerst nachgewiesen worden, dass der Muskel reichlich CO_2 zu entwickeln vermag, ohne dass ihm O zugeführt wird. Hermann nimmt an, dass CO_2 von einem Eiweisskörper sich abspalte.

Wie viel CO_2 bei der Muskelaction gebildet wird, darüber bestehen sehr widersprechende Angaben, obwohl Valentin[6]) und

---

1) Luchsinger, Experimentelle und kritische Beiträge zur Physiologie u. Pathologie des Glykogens. Dissertation. Zürich 1875.

2) O. Nasse, Zur Anatomie und Physiologie der quergestreiften Muskelsubstanz. Leipzig 1882. S. 84.

3) E. Külz, Beiträge zur Kenntniss des Glykogins. In den Gratulationsschriften der Marburger med. Facultät zu C. Ludwig's 50jähriger Doctorjubelfeier 1890, 50, 117 u. 121.

4) Martius, Die Erschöpfung und Ernährung des Froschherzens. Du Bois-Reymond's Arch. f. Physiologie 1882 S. 544.

5) L. Hermann, Untersuchungen zur Physiologie der Muskeln und Nerven 1867.

6) Valentin, Arch. f. phys. Heilk. XIV. 1855.

Matteucci[1]) schon vor vielen Jahren diese Frage in Angriff genommen hatten. Dass man mehr CO_2 ausathmet, wenn man sich Bewegung macht, als wenn man ruht, merkt jeder Laie, welcher weiss, dass mit CO_2-Bildung das Athmungsbedürfniss wächst.

Die Producte der Respiration sind unzählige Male unter den verschiedensten Umständen gemessen worden; aber Vergleiche der geleisteten Arbeit mit den gasförmigen Stoffwechselproducten fehlen (Lavoisier und Séguin[2]), Smith E.[3]), Voit[4]), Speck[5]).

E. Smith bestimmte die im Tretrade ausgeschiedene Kohlensäuremenge auf das Fünffache der bei der Ruhe producirten.

Die späteren Beobachter fanden jedoch die CO_2-Production bei Arbeitsleistung nicht in so hohem Grade vermehrt, wie Smith. Als Ursache dieser Differenz nimmt Voit[6]) an, dass die von E. Smith zu seinen CO_2-Bestimmungen angewandten Apparate nicht derart waren, um genaue Resultate damit zu erzielen. Die von Voit mittels des Voit-Pettenkofer'schen Respirationsapparates angestellten Versuche ergaben folgende Resultate: Während des Hungers verhält sich die bei Ruhe gebildete Kohlensäuremenge zu der bei Arbeit wie 1 : 2,3; bei mittlerer Kost dagegen ändert sich dieses Verhältniss. Setzt man auch hier die während der Ruhe producirte Kohlensäuremenge gleich 1, so erhält man für die bei der Arbeit ausgeschiedene Menge den Werth 1,6.

Beobachtungen, die dem alltäglichen Leben entnommen sind, legen uns den Gedanken nahe, dass der Stoffumsatz nicht in so directem Verhältnisse zur Arbeitsleistung stehe, wie dies gewöhnlich angenommen wird. Wir sehen z. B. bei kleinen, hageren italienischen Packträgern, dass sie ganz erstaunliche Lasten zu heben und zu tragen im Stande sind, ohne dass ihr Stoffumsatz oder ihre Nahrungsaufnahme entsprechend gesteigert wäre, und ohne dass bei ihnen die Ermüdung eintrete, wie wir bei minder genügsamen und

1) Matteucci, Compt. rend. XLII. 1856. Ann. d. chim. et phys. XLVII.

2) Lavoisier et Séguin, Premier mémoire sur la respiration des animaux. 1789. Œuvres de Lavoisier. T. II p. 688.

3) E. Smith, Philos. transact. Roy. Soc. CXLIX p. 681. 1859.

4) Voit, Zeitschr. f. Biol. II S. 538, 1866.

5) Speck, Arch. f. exp. Pathol. u. Pharmak. II S. 405 1874.

6) Hermann's Handbuch der Physiologie B. 6 S. 201.

gewandten massigen Lastträgern bemerken. Rekruten ächzen unter feldmässiger Ausrüstung, einexercirte Soldaten merken das Gepäck kaum noch.

Wer zu wiederholten Malen einen Berg ersteigt, findet den Aufstieg immer leichter, die Ermüdung schliesslich viel geringer, als im Anfange der Bergfahrten. Wie wäre dies anders zu erklären, als durch die Annahme, dass der Stoffumsatz ebenfalls geringer geworden sei? Dann dürfte aber der Stoffumsatz auch nicht mehr proportional der Arbeitsleistung sein. Auf Grund solcher Betrachtungen hat mich Herr Professor Kronecker aufgefordert, zu untersuchen, ob die Kohlensäureausscheidung (welche man als das Maass des Stoffumsatzes betrachtet) proportional der Arbeitsleistung sei, oder ob sich sonst eine Beziehung zwischen den beiden genannten Factoren findet.

Bevor ich aber direct an meine Aufgabe gehe, muss ich noch einige Bemerkungen betreffs des von mir verwendeten Absorptionsmittels vorausschicken.

Wegen der grossen Widerstände und der Gefahr der Verschüttung, wie sie bei Steigversuchen droht, nahmen wir Abstand von der Anwendung der Kalilauge. Die Angabe Mulder's[1]), welcher Natronkalk als treffliches Absorptionsmittel preist, liessen uns zu dieser Substanz greifen.

Wir bedienten uns „grobkörnigen“ (Trommsdorff) Natronkalks, dessen Fähigkeit, concentrirte und verdünnte Kohlensäure zu absorbiren wir durch einige Versuche geprüft hatten.

Aus Marmor mittels Salzsäure entwickelte Kohlensäure liess ich durch zwei mit resp. 80 und 15 (oder auch 20) g Natronkalk gefüllte U-Röhren streichen, nachdem das Gas durch Phosphorsäureanhydrid getrocknet war. Erst als der Natronkalk etwa 5% seines Gewichts Kohlensäure (auf 100 g Natronkalk 3 Liter Kohlensäure) aufgenommen hatte, absorbirte er bedeutend schwächer. Hierbei war es ganz gleichgültig, in welcher Concentration das aus Kohlensäure und atmosphärischer Luft bestehende Gemenge durch den Natronkalk getrieben wurde. Auch die Geschwindigkeit, mit welcher das Gas durch die Röhren strich, änderte nicht merklich die

1) Mulder, Zeitschrift für analytische Chemie 1, 2.

Absorptionsgrösse. In einem späteren Versuche wurden 500 ccm reiner (aus Soda durch verdünnte Schwefelsäure entwickelter), getrockneter Kohlensäure über Queksilber aufgefangen und etwa binnen 1 Minute durch 2 U-Röhren mit resp. 80 g und 20 g Natronkalk geleitet. Die erste Röhre enthielt danach fast alle Kohlensäure (8,3 g), die zweite nur Spuren.

I. Versuch.

Versuchsperson war ich selbst.

Alter 25 Jahre; Gewicht 69 kg.

Zweck dieses Versuchs war: die Menge der während der Ruhe (Sitzen auf einem Stuhle) ausgeschiedenen Kohlensäure zu bestimmen.

Der Apparat, den ich hierzu verwendete, hatte folgende Anordnung:

Zwei Hornoliven befanden sich in den Nasenlöchern. Zur besseren Fixirung waren sie mit den Nasenrändern verklebt. Mittels eines Gabelrohres waren sie mit dem einen Schenkel einer U-förmigen Röhre verbunden, welche, behufs Wasserabsorption, mit Chlorcalcium gefüllt war. Die andere Mündung dieser Chlorcalciumröhre war mit einer horizontal liegenden Röhre verbunden, welche mit Phosphorsäure-Anhydrit versehen war. Dieser äusserst hygroskopische Körper sollte etwaige Wasserdampfreste aufnehmen. An diese Phosphorsäure-Anhydritröhre schlossen sich dann vier U-Röhren, welche Natronkalk enthielten.

Um $8^1/_2{}^h$ Morgens nahm ich eine Tasse Milchkaffee mit einem Weissbrod.

12^h. P. 78′, R. 8 pro 1 Min. Anfang des Versuches 12^h 33′. Temperatur des Zimmers 19° C. Während des Versuches P. 76 bis 78 bis 80, R. 4 bis 5. Ende des Versuches 12^h 48′.

1. Natronröhre nach dem Versuch	202,149 g	
„ vor „ „	200,000 „	
		2,149 g
2. Natronröhre nach dem Versuch	196,525 g	
„ vor „ „	194,379 „	
		2,146 g

3. Natronröhre nach dem Versuch	234,736 g
„ vor „ „	232,687 „
	2,049 g
4. Natronröhre nach dem Versuch	226,783 g
„ vor „ „	225,847 „
	0,936 g

Absorption in der 1. Röhre	2,149 g
„ „ „ 2. „	2,146 „
„ „ „ 3. „	2,049 „
„ „ „ 4. „	0,936 „
Totalabsorption	7,280 g

In 15 Minuten wurden während der Ruhe 7,280 g CO_2 producirt und absorbirt. Auf 20 Minuten berechnet, ergaben sich 9,706 g.

II. Versuch.

Die Versuchsanordnung unterscheidet sich in etwas von der vorigen. Um das schmerzhafte Gefühl zu vermeiden, welches die in die Nase eingeklemmten Oliven verursachten, und um ausserdem die Athmung leichter zu machen, bzw. die Widerstände zu verkleinern, wurde dem Apparate folgende Gestalt gegeben.

Die Chlorcalciumröhre stand durch ein T-Rohr einerseits mit einem Gummisack (viereckiges Luftkissen) in Verbindung, andererseits mit einem Schlauch, welcher in den Mund führte. Alles andere blieb wie früher beschrieben.

Die Athmung geschah folgendermaassen: Durch die Nase wurde inspirirt, während gleichzeitig der in den Mund führende Gummischlauch von den Zähnen fest zusammengepresst wurde, so dass von dem Apparat her keine Luft in den Mund gelangen konnte. Zu dieser Zeit wurde mit dem rechten Arm der Luftsack comprimirt.

Die Exspiration geschah durch den Mund; während derselben wurde mit der linken freien Hand die Nase zugehalten, um ein Entweichen von Luft durch dieselbe unmöglich zu machen, während gleichzeitig die Compression des Schlauches durch die Zähne und diejenige des Gummisackes durch den Arm aufgegeben wurde, so

dass die Exspirationsluft theils in den Gummisack, theils in den Apparat sich entleeren konnte.

Der ganze Apparat, mit Ausnahme des Gummisackes, befand sich in einem ledernen Tornister, welcher durch Riemen, die über die Schulter gingen, auf der Brust getragen wurde. Zur besseren Fixirung war noch ein Lendenriemen angebracht. Der Gummisack, der 5000 ccm fasst, hing frei zur Seite des Tornisters herab: unter der rechten Achselhöhle.

Dieser Versuch sollte die Kohlensäuremenge bestimmen, welche beim ruhigen Gehen gebildet wird.

Versuchsperson war ich selbst. — Frühstück $8\frac{1}{2}^{h}$ morgens, bestehend aus Milchkaffee und einem Weissbrod.

Beginn des Versuches 12^{h} 30′. 80 Schritte pro 1 Min. 3—4 Resp. pro 1 Min. Ende des Versuchs 12^{h} 42′.

Absorption in der	1. Röhre	3,875 g
„ „ „	2. „	3,669 „
„ „ „	3. „	2,769 „
„ „ „	4. „	1,126 „
	Totalabsorption	11,439 g

In 12 Minuten wurden während des Gehens 11,439 g CO_2 ausgeathmet. Auf 20 Minuten berechnet ergeben sich 19 g CO_2.

III. Versuch.

Statt des gewöhnlichen einfachen Systems, welches aus vier Natronkalkröhren bestand, wurden jetzt zwei Systeme angewendet, wovon das eine aus vier Röhren, das andere aus drei bestand. Beide Systeme waren durch ein Gabelrohr mit der Phosphorsäureanhydritröhre verbunden. Durch Klemmschrauben konnte die Continuität dieser beiden Natronröhrensysteme unterbrochen werden, so dass der Luftstrom nur durch das eine ging.

Der Grund für die Anwendung zweier Systeme ist leicht ersichtlich; da wir einen Steigversuch machen wollten, bei welchem wir auf eine vermehrte Kohlensäureausscheidung rechnen mussten, so genügten vier Röhren wohl nicht mehr, um alle Kohlensäure aufzunehmen, oder besser gesagt: wir liefen mit dieser Reserve unge-

brauchten Natronkalkes weniger Gefahr, Kohlensäure zu verlieren. Im Uebrigen war die Anordnung die gleiche wie beim Versuch II.

Mittags 12 Uhr nahm ich ein Essen, bestehend aus Suppe, Rindfleisch, Wurst, Erbsen und Brod.

Um 5 Uhr verliess ich das physiologische Laboratorium und trug den Apparat eine Viertelstunde ebenen Weges bis zum Fusse der Treppe Aarziele, die ich hinaufzusteigen hatte.

Den Abhang zur Aare hinab liess ich mich durch die Drahtseilbahn befördern.

Ankunft im Aarziele 5 h 20 ′. Ruhe in Aarziele bis 5 h 50 ′. Um 5 h 30 ′ athmete ich 16mal pro 1 Min.

Mein Körpergewicht mit dem von mir getragenen Apparate betrug 72250 g.

Die zu ersteigende Höhe von Aarziele bis zur Warte des Münsterthurmes erreicht 81,55 m, und zwar von Aarziele bis zur Münsterterrasse 50 m (die Münsterterrasse stellt eine Ebene dar, auf der 100 Schritte gemacht wurden, um an den Fuss des Münsterthurms zu gelangen), von der Münsterterrasse bis zur Warte des Thurmes 31,55 m.

Anfang des Versuchs 5 h 50 ′. Ankunft auf der Münsterterrasse 5 h 55 ′. Ankunft auf der Thurmplattform 6 h 2 ′. Resp.-Frequenz 5 h 50 ′ 10 pro 1 Min., Pulsfrequenz 6 h 2 ′ 130 pro 1 Min.

Nachdem ich auf der Thurmwarte angelangt war (6 h 2 ′) athmete ich noch bis 6 h 10 ′ durch den Apparat.

In der Zeit von 6 h 2 ′ bis 6 h 10 ′ sass ich auf einem Stuhle. Pulsfrequenz 6 h 10 ′ 100.

Um 6 h 5 ′ wurde das eine (I.) Natronkalkröhrensystem [mit 4 Röhren] geschlossen und das andere (II.) [mit 3 Röhren] geöffnet.

System I.

Absorption in der 1. Röhre	5,169 g
„ „ „ 2. „	4,897 „
„ „ „ 3. „	6,374 „
„ „ „ 4. „	4,000 „
Totalabsorption des I. Syst.	20,440 g

System II.

Absorption in der 1. Röhre	4,405 g
„ „ „ 2. „	5,129 „
„ „ „ 3. „	2,245 „
Totalabsorption des II. Syst.	11,779 g

Totalabsorption in beiden Systemen 32,219 g CO_2 während 20 Minuten bei Hebung des Gewichtes meines belasteten Körpers von 72,250 kg auf eine Höhe von 81,55 m = 5892 kgm.

Barometer 717 mm Hg. Temperatur 12,4° C.

IV. Versuch.

Um die Klemmschrauben zu entbehren, welche je ein Röhrensystem abschlossen, und wodurch eine ungleiche Vertheilung auf die beiden Systeme, bezüglich ihrer Absorption resultirte, erhielt der Apparat die folgende Gestalt: Es kamen, wie in dem vorigen Versuch, zwei Systeme zu Verwendung, von denen jedoch jedes aus vier Röhren bestand. Die offenen Schenkel dieser beiden Systeme wurden durch ein Gabelrohr verbunden. An dessen unpaaren Schenkel war ein Seitenrohr von geringerem Lumen angeschmolzen. Mit diesem konnten dünnwandige Gummiballons verbunden werden, um Proben der den Apparat verlassenden Luft aufzufangen. Es wurde dann das Austrittsrohr der Luft mit einem Gummipfropfen verschlossen, und der Gummiballon durch Druck auf das Luftkissen gefüllt. Bei dieser Gestaltung des Apparats strich die Exspirationsluft gleichzeitig, während des ganzen Versuchs, durch die beiden Systeme.

Alles Andere war wie im vorhergehenden Versuche angeordnet.

Um 1 Uhr p. m. wurde ein einfaches Mittagsmahl genommen, bestehend aus Suppe, Rindfleisch, Braten, Salat und Brot.

In der Aarziele langte ich 6 h 5′ an. P. 78, R. 18. Anfang des Aufstiegs 6 h 15′. Ankunft auf der Münsterterrasse 6 h 20′. Ankunft auf der Plattform des Thurmes 6 h 26′. Um 6 h 28′ Frequenz der R. 8, P. 126. Um 6 h 30′ Füllung des ersten Probeballon. Um 6 h 35′ Füllung des zweiten Ballon. Um 6 h 37′ Ende des Versuchs. Von 6 h 21′ bis 6 h 22′ 20″ wurde geruht. Ebenso von 6 h 23′ 25″ bis 6 h 24′ 30″.

System I.

Absorption in der 1. Röhre	5,315 g
„ „ „ 2. „	5,489 „
„ „ „ 3. „	5,203 „
„ „ „ 4. „	5,938 „
Totalabsorption des I. Syst.	21,945 g

System II.

Absorption in der 1. Röhre	5,680 g
„ „ „ 2. „	6,075 „
„ „ „ 3. „	6,751 „
„ „ „ 4. „	3,482 „
Totalabsorption des II. Syst.	21,888 g

Totalabsorption in beiden Systemen während 22 Minuten = 43,833 g CO_2, bei Hebung eines Gewichtes von 72,250 g auf eine Höhe von 81,5 m = 5892 kg Arbeit.

Auf 20 Minuten berechnet, stellte sich die CO_2-Ausscheidung auf 39,939 g.

In den beiden Ballons fand sich keine CO_2.

Der erste Ballon, der 2500 ccm Volumen hatte, enthielt weniger als 0,5 mg CO_2.

Im zweiten Ballon, der 2100 ccm Inhalt hatte, liess sich ebenfalls keine CO_2 nachweisen. Beweis genug, dass unser Absorptionsapparat hinreichend fungirte.

Die Lufttemperatur zur Zeit des Versuchs betrug 16,3° C.; Barometerstand 712 mm.

V. Versuch.

Alles gleich wie beim vorhergehenden. 1 h p. m. Mittagessen, bestehend aus Suppe, Braten, Gemüse und Brod. 6 h. P. 72. R. 17.

Anfang des Aufstieges 6 h 15′. P. 71, R. 18. Ankunft auf der Terrasse 6 h 19′. R. 9. Ankunft auf der Thurmwarte 6 h 26′.

Füllung des ersten Ballon: 6 h 29′; um 6 h 30′: P. 106. Füllung des zweiten Ballon: 6 h 33′; um 6 h 34′: P. 96. Ende des Versuchs 6 h 35′. Von 6 h 22′ 40″ bis 6 h 24′ 5″ wurde geruht.

System I.

Absorption in der 1. Röhre	5,343 g
„ „ „ 2. „	6,336 „
„ „ „ 3. „	6,083 „
„ „ „ 4. „	3,346 „
Totalabsorption des I. Syst.	21,108 g

System II.

Absorption in der 1. Röhre	5,540 g
„ „ „ 2. „	5,818 „
„ „ „ 3. „	6,234 „
„ „ „ 4. „	3,324 „
Totalabsorption des II. Syst.	20,916 g

Totalabsorption in beiden Systemen = 42,024 g CO_2, während 20 Minuten bei Hebung eines Gewichtes (Körpergewicht) von 72250 g auf eine Höhe von 81,55 m = 5892 kgm Arbeit.

Der Unterschied, der in diesem Versuche absorbirten CO_2-Menge gegen die in dem vorhergehenden ist darauf zurückzuführen, dass in dem vorhergehenden Versuche aus Versehen des Begleiters der Versuch 22 Minuten dauerte, statt der vorher bestimmten 20 Minuten.

Der Inhalt der beiden Probeballons ergab keine CO_2. Die Atmosphärentemperatur während der Versuchszeit betrug 20,4° C. Der Barometerstand 715 Hg.

Nach Abschluss dieser Versuche machte ich zwölf Tage lang, täglich zweimal den Weg von Aarziele bis auf die Thurmwarte des Münsters. Am 13. Tage fand der VI. Versuch statt.

VI. Versuch.

Die nämliche Anordnung wie beim vorhergehenden Versuche.

Mittagessen 1 ^{h} p. m.: Suppe, Fleisch, Gemüse, Wurst, Brod. 6 ^{h} 20′: P. 70, R. 11. Anfang des Versuchs 6 ^{h} 30′. Ankunft auf der Münsterterrasse 6^h 34′. Ankunft auf der Thurmwarte 6^h 39′. 6 ^{h} 40′: P. 148, R. 12.

Mein Gewicht (das Gewicht des Apparates eingeschlossen), betrug 74500 g.

System I.

Absorption	in	der	1.	Röhre 3,808 g
„	„	„	2.	„ 3,801 „
„	„	„	3.	„ 4,109 „
„	„	„	4.	„ 4.796 „
Totalabsorption des I. Systems				16,514 g

System II.

Absorption	in	der	1.	Röhre 4,380 g
„	„	„	2.	„ 3,931 „
„	„	„	3.	„ 3,773 „
„	„	„	4.	„ 3,465 „
Totalabsorption des II. Systems				15,549 g

Totalabsorption in beiden Systemen während 20 Minuten = 32,063 g CO_2 bei Hebung eines Gewichtes von 74 500 g auf eine Höhe von 81,55 m = 6075,5 kgm Arbeit.

Der Inhalt der beiden 6 h 44′ und 6 h 49′ gefüllten Probeballons war auch nach diesem Versuche kohlensäurefrei.

Einige Tage darauf wurde der VII. Versuch gemacht. Während dieser Zeit bestieg ich nur dreimal den Thurm.

VII. Versuch.

Mittagesssen 1 h p. m. bestehend aus Suppe, Fleisch, Gemüse, Wurst und Brod. 5 h 50′: P. 73, R. 18.

Anfang des Aufstieges 6 h; um 6 h 2′ R. 9. Ankunft auf der Münsterterrasse 6 h 3′. Auf der Terrasse 8 bis 11 Respirationen pro Minute. Ankunft auf der Thurmwarte 6 h 7′. P. 128, R. 11. Füllung des ersten Ballon 6 h 9′, P. 102, R. 13. Füllung des zweiten Ballon 6 h 17′. Ende des Versuchs 7 h 20′.

System I.

Absorption	in	der	1.	Röhre 4,272 g
„	„	„	2.	„ 4,075 „
„	„	„	3.	„ 4,128 „
„	„	„	4.	„ 3,560 „
Totalabsorption des I. Systems				16,035 g

System II.

Absorption in der 1. Röhre	4,877 g
„ „ „ 2. „	4,108 „
„ „ „ 3. „	4,048 „
„ „ „ 4. „	3,302 „
Totalabsorption des II. Systems	16,335 g

Totalabsorption in beiden Systemen während 20 Minuten = 32,370 g CO_2 bei Hebung eines Gewichtes von 74500 g auf eine Höhe von 81,55 m = 6075,5 kgm Arbeit.

VIII. Versuch.

Der hierzu verwendete Apparat war der gleiche wie in den vorigen Versuchen. Mein Gewicht betrug 72 kg (mit dem Apparat). Um 1 Uhr nahm ich ein Mittagessen ein, bestehend aus Suppe, Fleisch, Brod, Gemüse und 0,2 l Wein.

Während des ganzen Versuchs sass ich auf einem Stuhle.

Beginn des Versuchs	6 h 1 ′ 5 R.
„ „ „	6 h 7 ′ 76 P.
„ „ „	6 h 10 ′ 6 R. 75 P.

6 h 15 ′ Füllung eines Probeballon. 72 P. — Ende des Versuchs 6 h 21 ′; Füllung des zweiten Probeballon.

System I.

Absorption in der 1. Röhre	3,345 g CO_2
„ „ „ 2. „	2,265 „ „
„ „ „ 3. „	0,340 „ „
„ „ „ 4. „	0,260 „ „
Totalabsorption des I. Syst.	6,210 g CO_2

System II.

Absorption in der 1. Röhre	3,405 g CO_2
„ „ „ 2. „	2,158 „ „
„ „ „ 3. „	0,648 „ „
„ „ „ 4. „	0,330 „ „
Totalabsorption des II. Syst.	6,541 g CO_2

Totalabsorption in beiden Systemen 12,751 g CO_2 beim Sitzen während 20 Minuten.

Im ersten Ballon befand sich keine CO_2. Der Inhalt des zweiten konnte nicht untersucht werden, da das aufgefangene Gemisch wegen schlechten Schlusses der Klemme theilweise entwichen war.

IX. Versuch.

Um 1 Uhr speiste ich zu Mittag: Suppe, Fleisch, Gemüse, Brod, 0,2 l Wein. Während des ganzen Versuchs sass ich auf einem Stuhle.

Beginn des Versuchs: 5^h 5′ P. 81, 5^h 10′ R. 6, 5^h 14′ P. 84, 5^h 20′ R. 7, 5^h 24′ Füllung eines Ballon. Ende des Versuchs 5^h 25′.

System I.

Absorption in der	1. Röhre	3,343 g CO_2.
„ „ „	2. „	2,210 „ „
„ „ „	3. „	0,673 „ „
„ „ „	4. „	0,362 „ „
Totalabsorption des ersten Systems		6,588 g CO_2.

System II.

Absorption in der	1. Röhre	3,317 g CO_2.
„ „ „	2. „	2,208 „ „
„ „ „	3. „	0,490 „ „
„ „ „	4. „	0,312 „ „
Totalabsorption des zweiten Systems		6,327 g CO_2.

Totalabsorption in beiden Systemen 12,915 g CO_2 beim Sitzen während 20 Minuten.

In dem kurz vor Schluss des Versuches gefüllten Ballon liess sich keine CO_2 nachweisen.

X. Versuch.

Die Anordnung des Versuchs VIII gilt auch für diesen. Während der ersten 10 Minuten ging ich im Zimmer auf und ab; in der letzten Hälfte des Versuchs sass ich auf einem Stuhle.

Anfang des Versuchs 5 h 20′. P. 80. 5 h 27′: R. 6. 5 h 30′: P. 100. 5 h 35′: R. 4. 5 h 39: P. 76. Ende des Versuchs 5 h 40′.

System I.

Absorption in der	1. Röhre	4,295 g CO_2.
„ „ „	2. „	4,965 „ „
„ „ „	3. „	2,670 „ „
„ „ „	4. „	0,150 „ „
Totalabsorption des ersten Systems		12,080 g CO_2.

System II.

Absorption in der	1. Röhre	5,395 g CO_2
„ „ „	2. „	4,288 „ „
„ „ „	3. „	0,545 „ „
„ „ „	4. „	0,120 „ „
Totalabsorption des II. Systems		10,348 g CO_2

Während 20 Minuten, wovon ich 10 Minuten ging und 10 Minuten sass, wurden von den beiden Systemen 22,428 g CO_2 absorbirt. Ballons wurden in diesem Versuche nicht angewendet. Die niederen Absorptionswerthe der letzten Röhren machten die Anwendung solcher auch für den folgenden (Parallel-) Versuch unnöthig.

XI. Versuch.

Die Anordnung dieses Versuchs ist ganz gleich wie beim vorhergehenden. Beginn des Versuchs 5 h 11′: P. 78, 5 h 21′: P. 102, von 5 h 11 — 5 h 21′ gegangen: 5 h 26′: P. 86, R. 6; 5 h 30′: P. 77, von 5 h 21′ — 5 h 31′ gesessen. Ende des Versuchs 5 h 31′.

System I.

Absorption in der	1. Röhre	4,932 g CO_2
„ „ „	2. „	4,505 „ „
„ „ „	3. „	1,510 „ „
„ „ „	4. „	0,205 „ „
Totalabsorption des I. Systems		11,152 g CO_2.

System II.

Absorption	in	der	1. Röhre	4,810 g CO_2
„	„	„	2. „	4,605 „ „
„	„	„	3. „	1,308 „ „
„	„	„	4. „	0,332 „ „

Totalabsorption des II. Systems 11,255 g CO_2.

Während 20 Minuten, wovon ich 10 Min. ging und 10 Min. sass, wurden von den beiden Systemen 22,407 g CO_2 absorbirt.

XII. Versuch.

(Thurmbesteigung mit Last.)

Um 1 Uhr: Suppe, Fleisch, Brod, Gemüse und 0,2 l Wein als Mittagessen eingenommen[1]).

Ausser dem Apparat hatte ich noch eine Belastung von 15 kg zu tragen.

5^h 44′: R. 18, P. 104
5^h 50′: R. 16, P. 96
} mit Belastung stehend.

Anfang des Aufstiegs 5^h 54′, Ankunft auf der Terrasse 5^h 57′, P. 144, Füllung des I. Ballon 5^h 58′, Ankunft auf dem Thurme 6^h 7′; 6^h 9′, P. 128. Füllung des II. Ballon 6^h 10′, R. 12, 6^h 13′, P. 112. Ende des Versuchs 6^h 14′, P. 104. Mein Gewicht betrug 75,5 ohne die 15 kg Belastung. Temperatur 17,0 °. Barometer 712 Hg.

System I.

Absorption	der	1.	Röhre	5,588 g CO_2.
„	„	2.	„	5,033 „ „
„	„	3.	„	4,190 „ „
„	„	4.	„	4,250 „ „

Totalabsorption des I. Systems 19,061 g CO_2.

System II.

Absorption	der	1.	Röhre	6,055 g CO_2.
„	„	2.	„	4,953 „ „
„	„	3.	„	4,675 „ „
„	„	4.	„	4,200 „ „

Totalabsorpation des II. Systems 19,883 g CO_2.

1) Betreffs näherer Details (vgl. Versuch III und IV).

Totalabsorption in beiden Systemen während 20 Min. 38,944 g CO_2 bei Hebung eines Gewichts von 90,5 kg auf eine Höhe von 81,5 m = 7376 kgm Arbeit.

Der erste Ballon enthielt keine CO_2. Im zweiten Ballon, der 2000 ccm Inhalt hatte, werden 0,001 g CO_2 nachgewiesen.

XIII. Versuch.

(Thurmbesteigung mit Last.)

5 h 40′: P. 80. R. 15. Beginn des Aufstiegs mit 15 kg Belastung neben dem Athemapparate 5 h 45′: R 5. Ankunft auf der Terrasse 5 h 49′. Füllung des ersten Ballon 5 h 50′: P. 150. Ankunft auf der Thurmwarte 5 h 58′, P. 147, R. 9. Füllung des zweiten Ballon 6 h 4′. Ende des Versuchs 6 h 5′.

System I.

Absorption	der	1.	Röhre	6,110 g CO_2.
„	„	2.	„	5,330 „ „
„	„	3.	„	4,285 „ „
„	„	4.	„	4,078 „ „
Totalabsorption des I. Systems				19,803 g CO_2.

System II.

Absorption	der	1.	Röhre	5,325 g CO_2.
„	„	2.	„	5,120 „ „
„	„	3.	„	4,797 „ „
„	„	4.	„	3,675 „ „
Totalabsorption des II. Systems				18,917 g CO_2.

Totalabsorption in beiden Systemen während 20 Min. 38,720 g CO_2 bei Hebung eines Gewichtes von 90,5 kg auf eine Höhe von 81,5 m = 7376 kgm Arbeit.

Im ersten Ballon befand sich keine CO_2; im zweiten dagegen, der einen Inhalt von 2000 ccm besass, konnten 0,007 g CO_2 nachgewiesen werden. Die Temperatur zur Zeit des Versuchs betrug 18,0 °; Barometer 722,0 Hg. Nach Vollendung dieses Versuchs bestieg ich während 14 Tagen den Münsterthurm, zwar ohne

Apparat, jedoch belastet mit den 15 kg Gewichten. Bis zum 6. Tage bestieg ich den Thurm täglich zweimal, am 7. und 8. täglich einmal, vom 8. bis 14. dagegen wieder zweimal täglich.

XIV. Versuch.

(Thurmbesteigung mit Last.)

5 h 45′: P. 82, R. 56. Beginn des Versuchs 5 h 56′, R. 20. Ankunft auf der Terrasse 6 h 2′. Füllung des ersten Ballon 6 h 3′, P. 94, R. 22. Während des Aufstiegs im Thurm R. 18. Ankunft auf der Thurmwarte 6 h 15′, P. 128. Füllung des zweiten Ballon 6 h 15½′. Ende des Versuchs 6 h 16′.

System I.

Absorption	der	1.	Röhre	4,303 g	CO_2.
„	„	2.	„	5,170 „	„
„	„	3.	„	4,397 „	„
„	„	4.	„	2,137 „	„
Totalabsorption des I. Systems				16,007 g	CO_2.

System II.

Absorption	der	1.	Röhre	3,948 g	CO_2.
„	„	2.	„	4,167 „	„
„	„	3.	„	4,533 „	„
„	„	4.	„	2,357 „	„
Totalabsorption des II. Systems				15,005 g	CO_2.

Totalabsorption in beiden Systemen während 20 Min. 31,022 g CO_2 bei Hebung eines Gewichts von 92,5 kg auf eine Höhe von 81,5 m = 7539 kgm.

Während der Zeit, wo ich mich im Steigen mit 15 kg Belastung übte, nahm ich um 2 kg an Körpergewicht zu; daher das Steigen des Werthes der gehobenen Last.

Im ersten Ballon war keine CO_2 enthalten; im zweiten dagegen, der einen Inhalt von ca 2000 ccm hatte, befanden sich 0,007 g CO_2. Während der Versuchszeit 16,1° C Lufttemperatur. Barometerstand 714 Hg.

XV. Versuch.

(Thurmbesteigung mit Last.)

5 h 34′: P. 78, R. 16. Anfang des Versuchs 5 h 45′, R. 20. Ankunft auf der Terrasse 5 h 51′. Füllung des ersten Ballon 5 h 52′, P. 150, R. 18. Ankunft auf der Münsterthurmwarte 6 h, P. 160, R. 16. Füllung des zweiten Ballon 6 h 4′. Ende des Versuchs 6 h 5′.

Hier, wie bei den vorausgehenden Versuchen, wo es nicht ausdrücklich bemerkt ist, speiste ich um 1 Uhr zu Mittag, und zwar: Suppe, Fleisch, Brod, Gemüse und 0,2 l Wein.

System I.

Absorption in der 1. Röhre	4,940 g CO_2
„ „ „ 2. „	4,732 „ „
„ „ „ 3. „	3,378 „ „
„ „ „ 4. „	2,120 „ „
Totalabsorption des I. Systems	15,170 g CO_2

System II.

Absorption der 1. Röhre	4,860 g CO_2
„ „ 2. „	4,713 „
„ „ 3. „	3,927 „
„ „ 4. „	2,310 „
Totalabsorption des II. Systems	15,810 g CO_2

Totalabsorption in beiden Systemen während 20 Minuten = 30,98 g CO_2 bei Hebung eines Gewichts von 92,5 kg auf eine Höhe von 81,5 m = 7539 kgm Arbeit.

Im ersten Ballon war keine CO_2 nachzuweisen. Der Inhalt des zweiten konnte nicht untersucht werden, da in Folge schlechten Schlusses der Klemme Luft aus dem Ballon entwichen war.

Lufttemperatur während der Versuchszeit 15,2 ° C. Barometerhöhe 717 mm Hg.

Zusammenstellung der bisher gewonnenen Resultate.

Versuchs-Nr.	Versuchs-bedingungen	Grösse der geleisteten Arbeit in kgm	Gewicht des während 20 Min. ausgeschiedenen CO_2 in g	Gewicht des zur Absorption verwendeten Natronkalks g	Vom angewandten Natronkalke absorbirbare CO_2-Menge in g
I	Ruhe	—	9,706	570	32
II	Gehen	—	19,390	685	38
III	—	—	—	—	—
IV	Steigen	5892	39,939	1601	94
V	Steigen	5892	42,024	1453	84
VI	Steigen (geübt)	6075,5	32,063	1430	84
VII	Steigen (geübt)	6075,5	32,370	1488	84
VIII	Ruhe	—	12,751	1429	84
IX	Ruhe	—	12,915	1433	84
X	Gehen u. Ruhe	—	22,428	1455	84
XI	Gehen u. Ruhe	—	22,407	1473	84
XII	Steigen mit 15 kg Last	7376	38,944	1482	84
XIII	Steigen mit 15 kg	7376	38,720	1531	90
XIV	Steigen mit 15 kg geübt	7539	31,022	1563	90
XV	Steigen mit 15 kg geübt	7539	30,980	1553	90

Die sämmtlichen hier vorliegenden 15 Versuche zerfallen in zwei Reihen. Der ersten derselben gehören die Versuche I—VII an; zur zweiten sind zu rechnen die Versuche VIII—XV. Diese letztere Reihe selbst stellt eine Controle der ersteren dar; zwischen diesen beiden Reihen von Versuchen lag ein Zeitraum von zwei Monaten, während dessen die Versuchsperson sich ziemlich ruhig verhielt, keine Märsche oder sonstige grössere körperliche Anstrengungen machte.

Wie aus der oben stehenden Tabelle ersichtlich, fehlt darin der Versuch III. Ich habe deswegen davon abgesehen, ihn in die Tabelle aufzunehmen, weil er keinen Anspruch auf Genauigkeit und Beweiskraft beanspruchen kann. Um nämlich die Widerstände in dem Röhrensysteme möglichst gering zu machen, wurden bei ihm die in den vorhergehenden Versuchen zu Anfang und am Ende jeder Natronkalkröhre eingelegten Wattetampons weggelassen.

Infolgedessen wurde während des Versuchs Natronkalkstaub aus den Röhren herausgeblassen, und zwar theils in die Verbindungsröhren, theils nach aussen.

Um den Unterschied zu zeigen, den die CO_2-Ausscheidung in der Ruhe, im Gegensatz zur Ausscheidung beim Gehen auf ebenem Boden und beim Steigen (geübtem und ungeübtem) bietet, habe ich die in den Versuchen I und II während 15′ und 12′ erhaltenen Werthe ebenfalls für 20 Minuten berechnet. Vergleiche zwischen dem berechneten Werthe des Versuchs I und seinem Parallelversuch VIII (20′) lassen eine Differenz von 3 g bemerken. Der Grund des Unterschieds in der Grösse dieser Zahlen liegt vielleicht darin, dass, wie aus der Beschreibung des Versuchs I ersichtlich, bei diesem die Exspiration noch nicht durch den Mund bewerkstelligt wurde, wie bei den anderen Versuchen, sondern durch die Nase exspirirt wurde. Hierzu wurden Glasoliven benutzt, welche nicht vollständig luftdicht schlossen.

Das Ergebniss des Versuchs IV ist gleichfalls ein berechnetes, was wohl die Ursache ist, dass dieses mit demjenigen von Versuch V nicht völlig übereinstimmt. Wie aus der Beschreibung des ersteren zu sehen ist, wurde aus Versehen des Begleiters statt der üblichen 20 Minuten 22 Minuten geathmet. Die überzähligen 2 Minuten verliefen 5 bis 7 Minuten nach Ende der Arbeit. Während dieser Erholungszeit wurde also sicherlich weniger CO_2 ausgeschieden, als während der Arbeit. Bei der Reduction auf 20 Minuten wurde diese Restausscheidung als Durchschnittsrate berechnet.

Hiernach ist mit Wahrscheinlichkeit anzunehmen, dass die Ausscheidung in den letzten zwei Ruheminuten wenig mehr als halb so gross wie die Arbeitsausscheidung gewesen ist.

Da nun auf eine Arbeitsminute etwa 2 g CO_2 entfallen, auf die Ruheminute etwa 1 g, so hätten wir zu dem durchschnittlich berechneten Werthe etwa 1 g zuzurechnen, also anstatt 39,939 rund 41,0, was gegen den aus Versuch V gewonnenen Werth von 42,0 nur 1 g Differenz gäbe.

Die Gewichte der verwendeten Natronkalkmengen und deren Absorptionsfähigkeit sind angegeben, um zu erweisen, dass der

durchathmete Natronkalk hinreichend war, um selbst abnorm grosse Mengen von exspirirter CO_2 zu absorbiren.

Die Tabelle zeigt uns, um wie viel die CO_2-Ausscheidung zunimmt beim Gehen, im Vergleiche mit der in der Ruhe gebildeten. Man kann annehmen, dass die CO_2-Production beim Gehen auf ebenem Boden doppelt so gross ist, wie beim Sitzen. Während sich in der ersten Reihe (für Ruhe und Gehen Versuche I und II) die Zahlen 9,7 und 19,4 gegenüberstehen, bemerken wir in der zweiten Reihe, Versuche VIII und IX (Ruhe), X nnd XI (Gehen auf der Ebene), für die entsprechenden Verhältnisse die Zahlen 12,7 und 22,4. Da das letztere Resultat wohl der Wirklichkeit näher kommt, weil, abgesehen von den im Vorausgehenden bereits angeführten Fehlerquellen, die Parallelversuche dieser Reihe so übereinstimmende Resultate ergaben, so dürfte das Zahlenverhältniss des ersten Versuchspaares der Reihe II als das maassgebende gelten. Demzufolge kann man den Satz nahezu gelten lassen, dass beim Gehen doppelt so viel CO_2 ausgeschieden wird, wie beim Sitzen. Bemerkenswerth ist noch, dass im II. Versuche während dessen ganzer Dauer auf ebenem Boden marschirt wurde; bei dem X. und XI. dagegen nur während 10 Minuten. Hieraus würde man schliessen können, dass während 10 Ruheminuten nach dem ebenso kurzen Marsche gleichviel CO_2 ausgeschieden wird, wie beim Gehen. Dies ist nicht gerade wahrscheinlich, und es bleibt auch der oben erwähnte Verdacht noch bestehen, dass in dem Versuche II CO_2 verloren worden ist.

Beim Steigen, bei welchem während der Versuche der ersten Reihe eine Arbeit von 5800—5900 kgm geleistet wurde, erhalten wir in den Versuchen IV und V corrigirte Zahlen von 39,9, 41 bis 42 g; also eine Zunahme der CO_2-Ausscheidung, welche ungefähr das Doppelte der beim Gehen erhaltenen Werthe darstellt.

Die entsprechenden Zahlen der zweiten Reihe, Versuche XII und XIII, sind kleiner: 38,9 und 38,7. Der Grund liegt daran, dass während derselben, wo ausser dem Körpergewichte noch eine Last von 15 kg auf eine Höhe von 81,5 m gehoben wurde, die Versuchsperson öfters auch durch die Nase und einigemal ganz frei (nicht durch den Apparat) zu exspiriren sich genöthigt fühlte, wodurch CO_2 verloren ging. Thatsächlich sind diese Werthe also höher,

wodurch das oben angegebene Verhältniss der Geh- zu den Steigversuchen auch für die II. Reihe sich wie 1 : 2 darstellen dürfte. Die etwas fehlerhaften Resultate der Versuche XII und XIII sind natürlich nur zufällig gleich gross, zudem auch CO_2 durch die Absorptionsröhren entwichen sein muss, da der eine dem Ende der Absorptionsröhren angesetzte Probeballon noch etwas CO_2 enthielt. Setzen wir für die während der Ruhe producirte CO_2-Menge = 1, so erhalten wir beim Gehen 1,89 und für das ungeübte Steigen 4,1 (erste Reihe).

Betrachten wir in gleicher Weise die zweite Reihe, so verhalten sich hier die entsprechenden Werthe wie 1 : 1,75 : 3,05.

Vergleichen wir endlich die Werthe in den Versuchen IV, V, VI und VII einerseits und die der Versuche XII, XIII, XIV und XV andererseits miteinander, so fällt uns ein ganz bedeutendes Sinken der CO_2-Ausscheidung in den jedesmaligen letzten Versuchen auf, welchen die Uebung vorausgegangen.

Setzen wir die oben begonnene Proportion auch für die letzten Versuche fort, so erhalten wir für die I. Reihe folgende Zahlen:

1	:	1,89	:	4,1	:	3,3
Ruhe		Gehen		Steigen ungeübt		Steigen geübt

für die zweite Reihe dagegen:

1	:	1,75	:	3,05	:	2,42
Ruhe		Gehen		Steigen ungeübt		Steigen geübt.

Hier ist anzunehmen, dass, wie oben angeführt, die CO_2-Werthe beim Steigen wohl etwas höher angesetzt werden müssen; ausserdem ist aber sicherlich die zwischen den zwei Versuchsreihen liegende Ruhezeit nicht genügend gewesen, um die vorausgegangene Uebung völlig aufzuheben.

Jedenfalls ist aber aus dem Vergleiche des 3. und 4. Gliedes ersichtlich, dass die fernere Uebung den Werth der CO_2-Ausscheidung auch unter den erschwerenden Bedingungen (Steigen mit 15 kg Ueberlast) noch weiter herabgedrückt hat.

Auf Grund dieser Resultate glaube ich, die eingangs vorliegender Arbeit aufgeworfene Frage: ob die CO_2-Ausscheidung und -Production bei gleichbleibender Arbeitsleistung sich stets constant halte, ob sie mit dem Steigen und Fallen des Arbeitswerthes sich entsprechend verändert, folgendermaassen beantworten zu dürfen: Die CO_2-Production des arbeitenden Menschen ist nicht eine Function seiner Leistung. Der Stoffumsatz nimmt ab, wenn die Uebung wächst.

Am Schlusse dieser Arbeit sage ich meinem verehrten Lehrer Herrn Professor Kronecker meinen innigsten Dank für die liebenswürdige Unterstützung, welche er mir bei Anfertigung dieser Arbeit in so reichlichem Maasse zu Theil werden liess.

Nachsatz.

Die wesentlichen Ergebnisse dieser Untersuchung sind am 7. August 1888 der Schweizerischen Naturforscherversammlung zu Solothurn mitgetheilt worden. Ein Bericht hierüber ist im Correspondenz-Blatte für Schweizer Aerzte (October 1888) veröffentlicht worden.

Herr Zuntz hat eine erste (mir bekannte) Mittheilung über ähnliche Versuche am 14. Februar 1890 der Berliner physiologischen Gesellschaft vorgetragen (S. Verhandlungen in du Bois-Reymond's Archiv 1890).